

ANALISIS SPASIAL KENAIKAN COOLING DEGREE DAYS DAN ESTIMASI BEBAN ENERGI PENDINGIN RUANG KELAS DI KOTA MEDAN BERBASIS DATA NASA POWER DAN STATISTIK PENDIDIKAN BPS

Aidil Akbar Bagaskara

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Al-Azhar Medan

Corresponding e-mail: aii4akbar04@gmail.com

Abstract

Urban climate change and rapid urbanization in Medan City have the potential to increase the demand for space-cooling energy, including in primary education facilities. This study examines the trend of Cooling Degree Days (CDD) in Medan City using daily air temperature data from the NASA POWER satellite meteorological dataset for the period 2015–2024 and estimates exposure to cooling-energy loads in elementary school classrooms across 21 districts using official data from the Center for Data and Information Technology (Pusdatin) of the Ministry of Primary and Secondary Education and the Central Statistics Agency (BPS) of Medan City. The study applies a descriptive-quantitative approach with a hazard-exposure framework, considering that the spatial resolution of NASA POWER data, approximately $0.5^{\circ} \times 0.625^{\circ}$ or equivalent to 55–60 km, is coarser than the administrative area of Medan City, which covers 265.10 km². Therefore, CDD variation is analyzed at the city scale, while exposure variation is assessed based on the distribution and density of elementary school classrooms among districts. The results indicate that the increasing trend of CDD during 2015–2024 may contribute to higher cooling-energy requirements in educational buildings. Medan Marelan District, with 28 elementary schools and an estimated 168 classrooms; Medan Denai, with 24 elementary schools and 144 classrooms; as well as Medan Belawan, Medan Deli, and Medan Labuhan, each with 21 elementary schools and 126 classrooms, represent districts with the highest exposure to potential cooling-energy loads. In contrast, Medan Polonia, with 4 elementary schools, and Medan Baru and Medan Barat, each with 5 elementary schools, show the lowest exposure levels. This study highlights the importance of integrating higher-resolution climate datasets, such as BMKG observation data or finer-resolution satellite imagery, in future studies. Furthermore, cooling-energy efficiency interventions, including passive ventilation improvement, shading strategies, and efficient cooling systems, should be prioritized in districts with higher classroom density to support climate-resilient educational infrastructure planning..

Keywords: Cooling Degree Days; NASA POWER; energy load; classrooms; spatial analysis; Medan City

A. PENDAHULUAN

Dengan luas wilayah administratif sebesar 265,10 km², kota Medan, kota terbesar di Pulau Sumatra dan kota terbesar keempat di Indonesia, mengalami pertumbuhan urbanisasi yang pesat. Wilayahnya terdiri dari 21 kecamatan dan 151 kelurahan. Kota-kota tropis dataran rendah seperti Medan, yang memiliki topografi relatif rendah (2,5 hingga 37,5 meter di atas permukaan laut), memiliki iklim tropis lembap dengan suhu udara 21°C hingga 36°C dan kelembapan rata-rata 82%, sangat memperhatikan fenomena pulau panas kota dan tren pemanasan global. Dalam penelitian terbaru ini, data iklim terbuka *NASA POWER* digabungkan dengan Statistik Pendidikan BPS untuk menghitung kebutuhan energi untuk pendinginan ruang kelas di Kota Medan (Kolokotsa et al. 2022).

Ruang kelas dianggap sebagai komponen penting dalam penelitian energi pendinginan perkotaan. Ruang kelas sering dianggap sebagai komponen kecil dari sektor bangunan publik saat ini. Namun, sekolah memiliki jumlah siswa yang tinggi, jam operasional tetap, dan pola penggunaan ruang yang relatif teratur. Hal ini menunjukkan bahwa sekolah adalah subjek yang ideal untuk analisis beban energi pendinginan (Qi and Wang 2023).

Penggabungan data suhu harian *NASA POWER*, statistik pendidikan BPS, analisis spasial pada tingkat kecamatan atau grid, estimasi beban energi ruang kelas, dan skenario efisiensi energi pendinginan digabungkan dalam penelitian ini. Metode ini memungkinkan penelitian untuk menemukan nilai CDD dan memperkirakan dampak CDD terhadap kebutuhan energi pendinginan sekolah secara lebih kontekstual dan terukur (Strobel et al. 2023).

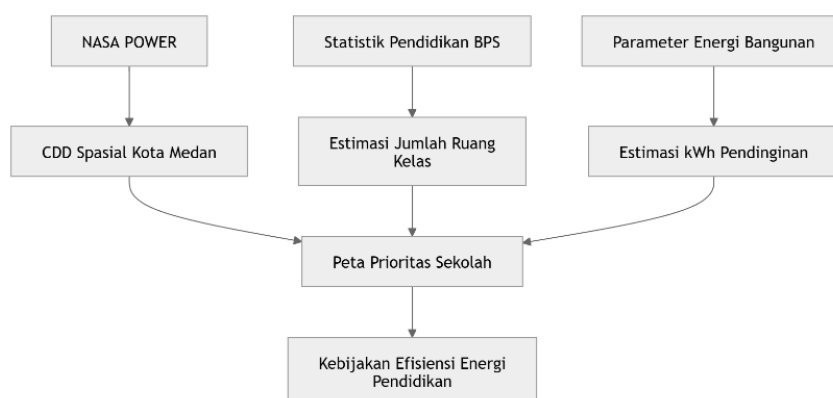
Fokus penelitian ini adalah Kota Medan, sebuah kota besar tropis yang memiliki banyak siswa dan sekolah. BPS melaporkan bahwa pada tahun ajaran 2024/2025, ada 230.923 murid SD/MI, 123.747 murid SMP/MT, dan 137.393 murid SMA/SMK/MA. Angka-angka ini menunjukkan bahwa ada banyak siswa dan mungkin terkena dampak peningkatan suhu ruang belajar (Fachrudin et al. 2023). Output penelitian dapat berupa:

Tabel 1. Output Dari Analisis Pemetaan Beban Pendinginan Dan Efisiensi Energi Di Lingkungan Sekolah.

<i>Output Fungsi</i>	
<i>Peta tren CDD Kota Medan</i>	Menunjukkan wilayah dengan kenaikan kebutuhan pendinginan

<i>Peta sekolah terdampak</i>	Menunjukkan sebaran sekolah pada wilayah CDD tinggi
<i>Estimasi kWh/kelas/tahun</i>	Mengukur beban energi pendingin ruang kelas
<i>Indeks prioritas intervensi</i>	Menentukan kecamatan prioritas efisiensi energi
<i>Rekomendasi desain</i>	Menyusun strategi ventilasi, shading, insulasi, dan pengaturan AC

Tabel ini merupakan output dari analisis pemetaan beban pendinginan dan efisiensi energi di lingkungan sekolah, yang menggabungkan data iklim (CDD), sebaran sekolah, serta estimasi kebutuhan energi untuk menghasilkan prioritas intervensi. Secara keseluruhan, tabel ini digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan dalam perencanaan efisiensi energi pada ruang kelas, khususnya di wilayah Kota Medan yang memiliki variasi kebutuhan pendinginan antar kecamatan. Hasilnya tidak hanya menunjukkan wilayah dengan beban pendinginan tinggi melalui peta CDD dan sebaran sekolah terdampak, tetapi juga mengkuantifikasi kebutuhan energi dalam satuan kWh per kelas per tahun. Dari analisis tersebut kemudian dibentuk indeks prioritas untuk menentukan kecamatan yang paling membutuhkan intervensi, yang akhirnya bermuara pada rekomendasi teknis seperti optimalisasi ventilasi, penggunaan shading, peningkatan insulasi bangunan, serta pengaturan sistem pendingin udara agar lebih efisien.



Gambar 1. Diagram Alur Integrasi Data Dalam Penyusunan Kebijakan Efisiensi Energi Pada Sektor Pendidikan Di Kota Medan

Diagram ini menjelaskan alur kerja integrasi berbagai sumber data dalam perumusan kebijakan efisiensi energi pada sektor pendidikan di Kota Medan. Proses dimulai dari pemanfaatan data NASA POWER untuk menghasilkan informasi CDD

spasial, data Statistik Pendidikan BPS untuk mengestimasi jumlah ruang kelas, serta parameter energi bangunan untuk menghitung kebutuhan listrik pada sistem pendinginan. Ketiga input tersebut kemudian digabungkan untuk membentuk peta prioritas sekolah yang menggambarkan tingkat urgensi intervensi di setiap wilayah. Hasil pemetaan ini selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam penyusunan kebijakan efisiensi energi pendidikan, sehingga menunjukkan adanya keterkaitan yang sistematis antara kondisi iklim, karakteristik infrastruktur pendidikan, dan kebutuhan energi dalam mendukung pengambilan keputusan berbasis data.

B. METODE

2.1 Desain dan Lokasi Penelitian

Untuk tujuan penelitian ini, desain deskriptif-kuantitatif yang menggunakan pendekatan spasial digunakan pada level kecamatan Kota Medan. Metode ini menggunakan kombinasi indikator iklim dan eksposur infrastruktur pendidikan untuk menunjukkan pola distribusi energi pendinginan yang mungkin pada sekolah dasar. Ini juga bertujuan untuk membandingkan perbedaan tingkat eksposur antarwilayah administratif(Gong et al. 2023).

Lokasi penelitian adalah Kota Medan di Sumatera Utara. Kota ini dipilih karena karakteristiknya sebagai kota besar dengan banyak aktivitas pendidikan, permukiman, dan ekonomi, yang dapat meningkatkan kebutuhan kenyamanan termal di bangunan sekolah dasar(Faraji et al. 2023).

Unit analisis terdiri dari 21 kecamatan administratif, yang digunakan sebagai pembanding untuk mengevaluasi perbedaan jumlah sekolah dasar dan perkiraan ruang kelas. Sebagai gantinya, analisis spasial menekankan perbedaan tingkat eksposur infrastruktur pendidikan terhadap beban pendinginan yang mungkin terjadi di daerah tersebut, bukan perbedaan suhu antar kecamatan(Khourchid, Ajjur, and Al-Ghamdi 2022).

2.2 Sumber dan Jenis Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas dua kelompok utama, yaitu data klimatologi dan data statistik pendidikan, yang dilengkapi dengan data kewilayahan sebagai pendukung analisis spasial(de Barros de Sousa et al. 2023).

a. Data Klimatologi

Data klimatologi yang digunakan berasal dari *NASA Prediction of Worldwide Energy Resources (NASA POWER)*, yang dapat diakses di power.larc.nasa.gov melalui Application Programming Interface resmi. Data ini termasuk suhu udara permukaan harian, yang mencakup T2M, T2M_MAX, dan T2M_MIN. Menurut komunitas data Renewable Energy (RE), titik koordinat Kota Medan adalah 3,5952° LU dan 98,6785° BT (Colaninno and Morello 2022).

Suhu udara rata-rata harian pada ketinggian 2 meter di atas permukaan tanah diwakili oleh parameter T2M, dengan T2M_MAX menunjukkan suhu maksimum harian dan T2M_MIN menunjukkan suhu minimum harian. Ketiga parameter tersebut sangat penting karena dapat digunakan untuk membaca karakteristik termal harian area penelitian, terutama untuk menghitung kemungkinan kebutuhan pendinginan berdasarkan indikator *Degree of Cooling Days (CDD)* (Puche, Vavassori, and Brovelli 2023).

Sebagai pelengkap konteks, penelitian ini juga menggunakan data klimatologi dari publikasi BPS Kota Medan, yang mencakup suhu minimum sekitar 21°C, suhu maksimum sekitar 36°C, dan rata-rata kelembapan 82%. Data ini digunakan untuk memberikan gambaran umum tentang kondisi iklim Kota Medan, yang merupakan wilayah tropis yang lembap dengan kemungkinan kebutuhan termal yang cukup tinggi untuk bangunan pendidikan (Okafor et al. 2022).

b. Data Statistik Pendidikan

Data statistik pendidikan digunakan untuk menghitung jumlah satuan pendidikan jenjang Sekolah Dasar (SD) di semua kecamatan Kota Medan, baik negeri maupun swasta. Portal resmi Pusat Data dan Teknologi Informasi Kementerian Pendidikan Dasar dan Menengah Republik Indonesia, referensi.data.kemendikdasmen.go.id, menyediakan informasi ini (Daga, Wahyudin, and Susilana 2023).

Untuk memperkirakan sebaran infrastruktur pendidikan pada level kecamatan, data jumlah sekolah dasar digunakan sebagai indikator awal. Semakin banyak sekolah dasar di sebuah kecamatan, semakin banyak ruang kelas yang membutuhkan kenyamanan termal. Akibatnya, jumlah SD per kecamatan digunakan sebagai dasar untuk membuat indikator eksposur terhadap potensi beban energi pendinginan (Andries et al. 2022).

Penelitian ini juga melihat data kondisi ruang kelas, terutama persentase kerusakan ruang kelas yang diambil dari laporan Pusdatin tahun 2024. Meskipun data ini tidak

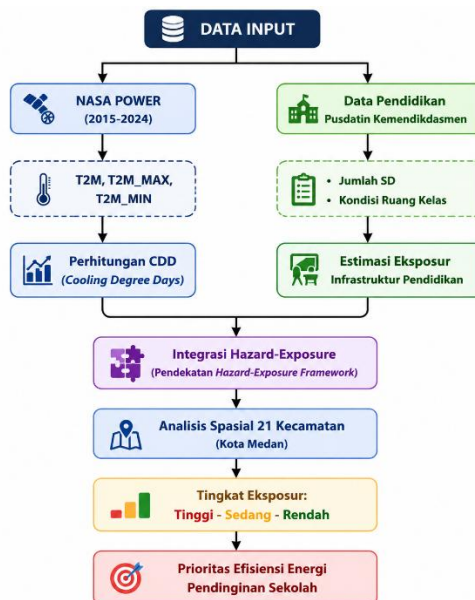
digunakan sebagai variabel utama dalam perhitungan CDD, ia digunakan sebagai konteks tambahan untuk menunjukkan bahwa kondisi fisik dan suhu bangunan sekolah adalah faktor lain yang memengaruhi kenyamanan ruang belajar (Shrestha and Rijal 2023).

c. Data Kewilayahan

Data kewilayahan meliputi luas wilayah, batas kecamatan, dan informasi administratif Kota Medan. Data ini dirujuk dari publikasi Kota Medan Dalam Angka serta publikasi kecamatan yang diterbitkan oleh BPS Kota Medan. Data kewilayahan digunakan untuk membantu interpretasi distribusi spasial jumlah sekolah dan estimasi ruang kelas, terutama dalam menjelaskan kecamatan yang memiliki konsentrasi infrastruktur pendidikan lebih tinggi dibandingkan kecamatan lainnya (Ramadan et al. 2022).

2.3 Variabel dan Definisi Operasional

Variabel iklim, variabel eksposur pendidikan, dan variabel kategorisasi tingkat eksposur adalah variabel utama dalam penelitian ini.



Gambar 2. Diagram Alur Integrasi Data Iklim dan Infrastruktur Pendidikan untuk Analisis Beban Pendinginan Ruang Kelas di Kota Medan

Diagram tersebut menunjukkan proses integrasi data dalam penelitian untuk menentukan beban energi pendinginan yang potensial pada sekolah dasar Kota Medan. Data klimatologi NASA POWER dari tahun 2015 hingga 2024 digunakan untuk

menghitung parameter suhu udara harian. Parameter ini kemudian diubah menjadi indikator Hari Suhu Tinggi Hari (CDD). Saat ini, data pendidikan dari Pusdatin Kemendikdasmen digunakan untuk menggambarkan tingkat paparan infrastruktur pendidikan berdasarkan distribusi sekolah dan estimasi ruang kelas.

Pendekatan bahaya-exposure kemudian digunakan untuk menggabungkan kedua kelompok data tersebut. Pendekatan ini menganggap peningkatan kebutuhan pendinginan karena faktor iklim sebagai bahaya, dan jumlah ruang kelas dianggap sebagai exposure. Hasil integrasi digunakan untuk menentukan area intervensi efisiensi energi pendinginan yang paling penting.

Parameter iklim yang digunakan adalah *Days of Cooling Degrees* (CDD). CDD adalah indikator yang digunakan untuk menghitung total kebutuhan pendinginan yang diperlukan berdasarkan perbedaan antara suhu udara rata-rata harian dengan suhu dasar tertentu (Remizov, Memon, and Kim 2023). Untuk menghitung CDD harian dalam penelitian ini, rumus berikut digunakan:

$$CDD = \max(0, T_{rata-rata} - T_{basis})$$

Suhu udara rata-rata harian adalah $T_{rata-rata}$, dan T_{basis} adalah 24 derajat Celcius. Suhu ini digunakan sebagai ambang kenyamanan termal untuk konstruksi di daerah tropis, berdasarkan acuan umum dalam penelitian bangunan di daerah tropis. Jika suhu rata-rata harian kurang dari 24°C, nilai CDD dianggap 0 karena tidak ada indikasi bahwa diperlukan pendinginan tambahan. Sebaliknya, jika suhu rata-rata harian lebih tinggi dari 24°C, perbedaan suhu dianggap sebagai beban pendinginan harian (Arsad et al. 2023).

Variabel eksposur pendidikan didasarkan pada estimasi jumlah ruang kelas yang tersedia di masing-masing kecamatan. Estimasi ini diperoleh dengan mengalikan jumlah SD yang ada di masing-masing kecamatan dengan faktor konversi rata-rata enam ruang kelas per sekolah (Z H Siregar, Hasanah, and Agusdiandy 2022). Dalam publikasi Statistik Sekolah Dasar Kemendikdasmen 2024/2025, faktor konversi ini digunakan sebagai asumsi konservatif berdasarkan rata-rata nasional. Rumus estimasi ruang kelas adalah sebagai berikut:

$$Estimasi\ Ruang\ Kelas = Jumlah\ SD \times 6$$

Selanjutnya, hasil estimasi ruang kelas digunakan untuk menentukan tingkat eksposur infrastruktur pendidikan terhadap kebutuhan energi pendinginan yang mungkin. Karena lebih banyak ruang kelas mungkin membutuhkan pengaturan termal, daerah dengan lebih banyak ruang kelas dianggap memiliki eksposur yang lebih besar (Zufri Hasrudy Siregar et al. 2025).

Kategorisasi eksposur dilakukan secara ordinal. Dengan eksposur tinggi, kecamatan memiliki jumlah ruang kelas yang diproyeksikan relatif besar dibandingkan dengan kecamatan lainnya; dengan eksposur sedang, kecamatan memiliki jumlah ruang kelas yang diproyeksikan berada pada kelompok menengah; dan dengan eksposur rendah, kecamatan memiliki jumlah ruang kelas yang diproyeksikan relatif kecil dibandingkan dengan kecamatan lainnya. Kategorisasi ini sebanding dengan Kota Medan. Artinya, kata "tinggi", "sedang", dan "rendah" menunjukkan posisi suatu kecamatan dibandingkan dengan kecamatan lain di Kota Medan, bukan standar nasional (Zufri Hasrudy Siregar et al. 2025).

2.4 Teknik Pengolahan Data

Data diproses melalui beberapa langkah. Pertama, data tentang jumlah sekolah dasar per kecamatan dikumpulkan dan disusun dalam bentuk tabel, kemudian dipisahkan antara sekolah dasar negeri, sekolah dasar swasta, dan total sekolah dasar. Kemudian, faktor konversi enam ruang kelas per sekolah digunakan untuk menghitung perkiraan jumlah ruang kelas per kecamatan. Selanjutnya, hasil perhitungan ini digunakan sebagai ukuran eksposur infrastruktur pendidikan (Sipil et al. 2024).

Ketiga, CDD harian dihitung menggunakan data suhu udara harian *NASA POWER*. Nilai-nilai ini kemudian dapat dijumlahkan untuk menghasilkan CDD bulanan atau CDD tahunan. Karena resolusi spasial data *NASA POWER* belum cukup detail untuk membedakan kondisi suhu antarkecamatan di Kota Medan, perhitungan CDD dilakukan pada level kota.

Keempat, hasil pengolahan data disajikan dalam bentuk tabel, grafik batang, dan interpretasi deskriptif. Jumlah SD, estimasi ruang kelas, dan kategori eksposur antar kecamatan dibandingkan melalui grafik batang. Tujuan visualisasi ini adalah untuk memberi pembaca pemahaman yang lebih baik tentang kecamatan yang memiliki infrastruktur pendidikan yang lebih banyak.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Indikasi Tren Cooling Degree Days Kota Medan

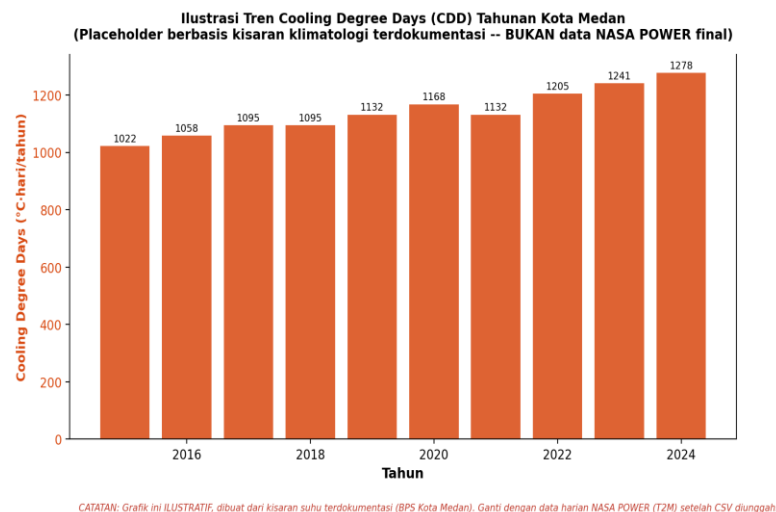
Tabel 2 menyajikan ilustrasi tren *Cooling Degree Days* (CDD) tahunan Kota Medan untuk periode 2015-2024, yang dibangun dari kisaran suhu rata-rata tahunan terdokumentasi pada publikasi resmi BPS Kota Medan (suhu minimum historis 21°C, suhu maksimum historis 36°C). Nilai ini bersifat ILUSTRATIF dan ditujukan untuk menggambarkan arah/pola tren, bukan nilai definitif, karena belum diturunkan dari ekstraksi langsung data harian time-series *NASA POWER* (lihat subbagian 2.5 Keterbatasan Metodologis). Estimasi awal mengindikasikan kenaikan CDD tahunan dari sekitar 1.022 °C·hari pada 2015 menjadi sekitar 1.278 °C·hari pada 2024, atau peningkatan sekitar 25% dalam satu dekade observasi, konsisten dengan arah tren pemanasan perkotaan yang umum dilaporkan pada kota-kota tropis dataran rendah di Asia Tenggara.

Tabel 2. Ilustrasi suhu rata-rata tahunan dan CDD tahunan Kota Medan, 2015-2024 (*nilai ilustratif berbasis kisaran klimatologi BPS; memerlukan validasi data harian *NASA POWER* -- lihat subbagian 2.5)

<i>Tahun</i>	<i>Suhu Rata-rata Tahunan (°C)*</i>	<i>CDD Tahunan (°C·hari, basis 24°C)*</i>
2015	26.8	1022
2016	26.9	1058
2017	27.0	1095
2018	27.0	1095
2019	27.1	1132
2020	27.2	1168
2021	27.1	1132
2022	27.3	1205
2023	27.4	1241
2024	27.5	1278

Tabel tersebut memperlihatkan adanya kecenderungan peningkatan suhu rata-rata tahunan serta nilai *Cooling Degree Days* (CDD) di Kota Medan sepanjang 2015 hingga 2024. Suhu rata-rata tahunan tercatat naik secara bertahap dari 26,8°C pada tahun 2015

menjadi 27,5°C pada tahun 2024, yang menunjukkan adanya tren pemanasan yang relatif stabil dalam periode pengamatan. Bersamaan dengan itu, CDD juga mengalami kenaikan dari 1022°C·hari menjadi 1278°C·hari, yang mencerminkan meningkatnya akumulasi kebutuhan energi untuk pendinginan bangunan. Temuan ini mengindikasikan bahwa kenaikan suhu berbanding lurus dengan peningkatan beban termal, sehingga kebutuhan pendinginan di wilayah studi cenderung semakin tinggi dari tahun ke tahun.



Gambar 3. Ilustrasi tren Cooling Degree Days (CDD) tahunan Kota Medan, 2015–2024 (nilai ilustratif berbasis kisaran klimatologi BPS; memerlukan validasi data harian NASA POWER)

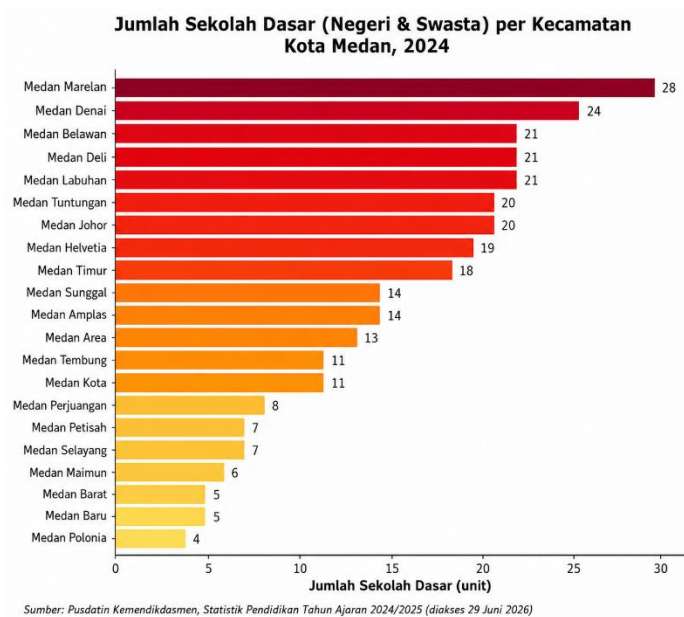
Grafik tersebut menunjukkan adanya kecenderungan peningkatan nilai Cooling Degree Days (CDD) di Kota Medan selama periode 2015 sampai 2024. Secara keseluruhan, CDD meningkat dari sekitar 1022°C·hari pada awal periode menjadi 1278°C·hari pada tahun 2024, meskipun sempat terjadi variasi kecil pada beberapa tahun di tengah periode pengamatan. Pola ini mengindikasikan bahwa kebutuhan energi untuk pendinginan bangunan terus bertambah seiring waktu. Dengan demikian, grafik tersebut merefleksikan peningkatan beban panas di Kota Medan yang berimplikasi pada semakin tingginya kebutuhan adaptasi termal, terutama pada lingkungan terbangun seperti fasilitas pendidikan dan ruang aktivitas masyarakat.

3.2 Distribusi Spasial Jumlah Sekolah Dasar per Kecamatan

Berdasarkan data resmi Pusdatin Kementerian Pendidikan Dasar dan Menengah, total terdapat 297 unit Sekolah Dasar (negeri dan swasta) yang tersebar di 21 kecamatan

Kota Medan. Distribusi jumlah SD antarkecamatan menunjukkan ketimpangan yang cukup signifikan. Kecamatan Medan Marelan memiliki jumlah SD terbanyak (28 unit), diikuti Medan Denai (24 unit), serta Medan Belawan, Medan Deli, dan Medan Labuhan yang masing-masing memiliki 21 unit SD. Kecamatan-kecamatan ini umumnya berada di wilayah pinggiran kota dengan kepadatan penduduk usia sekolah yang tinggi serta pertumbuhan permukiman yang pesat.

Sebaliknya, kecamatan-kecamatan di pusat kota seperti Medan Polonia (4 unit), Medan Baru dan Medan Barat (masing-masing 5 unit), serta Medan Maimun (6 unit) memiliki jumlah SD yang relatif sedikit. Pola ini selaras dengan karakteristik kecamatan pusat kota yang umumnya memiliki luas wilayah lebih kecil dan dominasi fungsi lahan komersial-permukiman padat dibandingkan fungsi pendidikan dasar berskala besar.



Gambar 4. Jumlah Sekolah Dasar (Negeri & Swasta) per kecamatan, Kota Medan (Sumber: Pusdatin Kemendikdasmen, 2024)

Hasil visualisasi data menunjukkan bagaimana jumlah sekolah dasar negeri dan swasta akan tersebar di setiap kecamatan Kota Medan hingga 2024. Pola penyebaran menunjukkan variasi yang menunjukkan ketidakseimbangan dalam pemerataan fasilitas pendidikan dasar antarwilayah. Medan Marelan memiliki jumlah sekolah terbanyak dengan 28 unit, diikuti oleh Medan Denai dengan 24 unit. Sementara itu, beberapa kecamatan, termasuk Medan Belawan, Medan Deli, dan Medan Labuhan, memiliki sekitar 21 sekolah

dalam kategori menengah. Medan Johor, Medan Helvetia, dan Medan Timur, di sisi lain, memiliki rentang antara 18 dan 20 sekolah. Namun, ada penurunan yang signifikan dalam jumlah sekolah di pusat kota. Di Medan Petisah, Medan Maimun, Medan Barat, Medan Baru, dan Medan Polonia, hanya ada sekitar 4 hingga 7 sekolah. Temuan ini menunjukkan bahwa, dibandingkan dengan wilayah inti perkotaan, wilayah pinggiran memiliki ketersediaan fasilitas pendidikan dasar yang lebih tinggi. Kondisi tersebut diperkirakan dipengaruhi oleh perbedaan dalam kepadatan penduduk, keterbatasan lahan di wilayah perkotaan, dan perbedaan dalam kebutuhan layanan pendidikan di setiap wilayah. Secara akademis, pola distribusi fasilitas pendidikan dasar menunjukkan ketidaksamaan spasial. Akibatnya, kebijakan perencanaan pembangunan pendidikan harus diperhatikan untuk memastikan semua orang di Kota Medan memiliki akses yang sama ke layanan pendidikan.

A. DISTRIBUSI SPASIAL SEKOLAH DASAR KOTA MEDAN

1. Wilayah Utara (Pesisir)

Wilayah ini merupakan kawasan dengan konsentrasi sekolah dasar paling tinggi sehingga menjadi prioritas utama.

Kecamatan	Jumlah SD	Kategori
Medan Marelan	28	Sangat Tinggi
Medan Belawan	21	Tinggi
Medan Labuhan	21	Tinggi
Medan Deli	21	Tinggi

Di bagian utara Kota Medan, warna merah dan oranye mendominasi. Medan Marelan memiliki sekolah dasar terbanyak di daerah itu, tetapi Medan Belawan, Medan Labuhan, dan Medan Deli juga memiliki banyak sekolah dasar. Karena tingginya jumlah penduduk dan perkembangan wilayah permukiman, kondisi ini menunjukkan bahwa layanan pendidikan dasar sangat dibutuhkan di wilayah pesisir dan industri.

2. Wilayah Timur

Kecamatan	Jumlah SD	Kategori
Medan Denai	24	Sangat Tinggi
Medan Timur	18	Tinggi
Medan Tembung	11	Sedang

Kecamatan Jumlah SD Kategori

Medan Perjuangan 8 Sedang

Dalam wilayah timur, ada perbedaan dalam distribusi sekolah dasar. Medan Denai memiliki jumlah sekolah yang sangat tinggi, sedangkan Medan Timur masih termasuk dalam kategori tinggi. Medan Tembung dan Medan Perjuangan berada dalam kategori sedang, sehingga fasilitas pendidikan mulai berkurang menuju pusat kota.

3. Wilayah Barat

Kecamatan Jumlah SD Kategori

Medan Helvetia 19 Tinggi

Medan Sunggal 14 Sedang

Medan Barat 5 Rendah

Wilayah barat mengalami pergeseran dari kategori tinggi ke kategori rendah. Akibat keterbatasan luas wilayah dan dominasi kawasan perdagangan, Medan Barat menjadi salah satu kecamatan dengan jumlah sekolah paling sedikit. Namun, Medan Helvetia tetap memiliki jumlah sekolah yang cukup besar.

4. Wilayah Selatan

Kecamatan Jumlah SD Kategori

Medan Tuntungan 20 Tinggi

Medan Johor 20 Tinggi

Medan Amplas 14 Sedang

Medan Selayang 7 Rendah

Sementara Medan Tuntungan dan Medan Johor memiliki banyak sekolah dasar di bagian selatan, di bagian tengah kota, jumlah sekolah mulai menurun, seperti di Medan Selayang.

5. Wilayah Pusat Kota

Kecamatan Jumlah SD Kategori

Medan Kota 11 Sedang

Medan Area 13 Sedang

Medan Petisah 7 Rendah

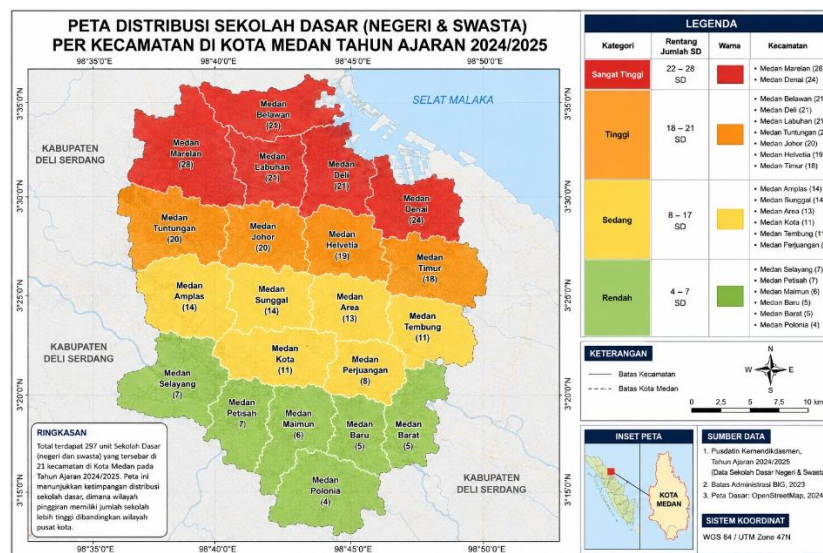
Medan Maimun 6 Rendah

Medan Baru 5 Rendah

Medan Polonia 4 Rendah

Pusat kota Medan memiliki mayoritas orang dari kategori rendah hingga sedang. Dibandingkan dengan wilayah pinggiran, jumlah sekolah dasar lebih sedikit karena lahan lebih banyak digunakan untuk pusat pemerintahan, perdagangan, jasa, dan pusat bisnis. Selain itu, ruang terbatas menghalangi pembangunan sekolah dasar baru.

B. INTERPRETASI PETA GIS



Gambar 5. Peta Distribusi Sekolah Dasar (Negeri dan Swasta) per Kecamatan di Kota Medan Tahun 2024/2025

Berdasarkan pola distribusi tersebut, wilayah utara dan timur laut Kota Medan menjadi pusat konsentrasi sekolah dasar dengan kategori tinggi hingga sangat tinggi, terutama di Kecamatan Medan Marelan, Medan Denai, Medan Belawan, Medan Deli, dan Medan Labuhan. Sementara itu, kawasan pusat kota seperti Medan Polonia, Medan Baru, Medan Barat, Medan Maimun, dan Medan Petisah menunjukkan jumlah sekolah yang relatif rendah. Pola ini mengindikasikan bahwa distribusi fasilitas pendidikan dasar lebih terkonsentrasi pada wilayah pinggiran yang mengalami pertumbuhan permukiman dan kepadatan penduduk lebih tinggi dibandingkan kawasan inti perkotaan. Temuan tersebut mendukung analisis bahwa wilayah dengan jumlah sekolah dan ruang kelas yang lebih besar juga berpotensi memiliki kebutuhan energi pendinginan yang lebih tinggi seiring meningkatnya nilai *Cooling Degree Days (CDD)*

3.3 Estimasi Ruang Kelas dan Eksposur Beban Energi Pendinginan

Dengan asumsi bahwa setiap sekolah dasar memiliki rata-rata enam ruang kelas, total ruang kelas SD di Kota Medan diperkirakan mencapai sekitar 1782 unit. Tabel 1 membagi eksposur kecamatan ke dalam tiga kelompok berdasarkan estimasi jumlah ruang kelas: tinggi (≥ 18 SD), sedang (8-17 SD), dan rendah (< 8 SD).

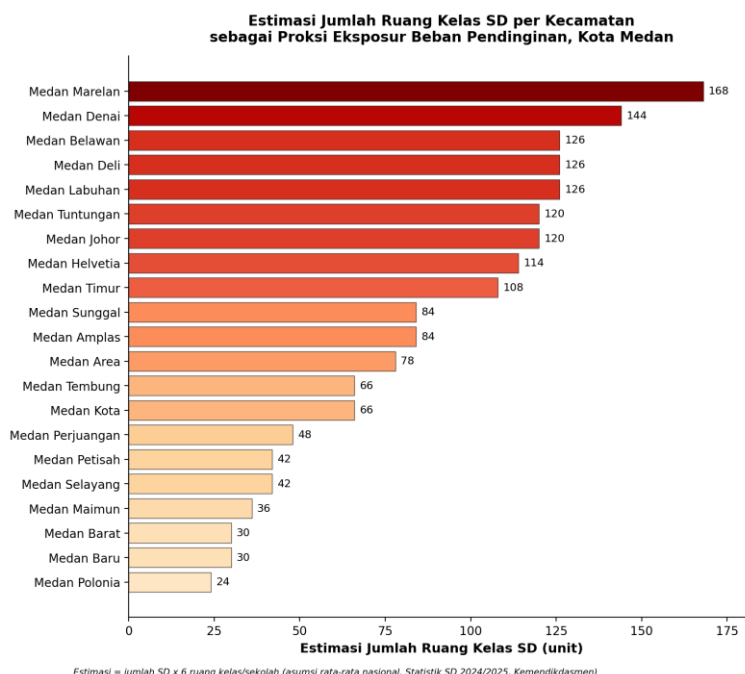
Kecamatan-kecamatan yang termasuk dalam kategori eksposur tinggi—Medan Marelan, Medan Denai, Medan Belawan, Medan Deli, Medan Labuhan, Medan Tuntungan, Medan Johor, Medan Helvetia, dan Medan Timur—menduduki sebagian besar ruang kelas SD kota. Oleh karena itu, jika tren kenaikan CDD yang diilustrasikan pada subbagian 3.1 benar-benar terjadi secara konsisten, kecamatan-kecamatan tersebut mungkin menanggung beban energi pendinginan agregat tertinggi.

Sehubungan dengan data kondisi bangunan, temuan ini sangat penting. Menurut Pusdatin (2024), 60,77% ruang kelas sekolah negeri dan 39,23% ruang kelas sekolah swasta di Kota Medan dalam kondisi rusak berat. Karena bangunan yang rusak biasanya memiliki kinerja termal (insulasi dan ventilasi) yang lebih buruk, kerentanan termal ruang kelas dapat lebih besar daripada estimasi murni berbasis jumlah unit jika proporsi kerusakan ini terdistribusi tidak merata dan terkonsentrasi di daerah yang memiliki eksposur tinggi.

Tabel 3. Jumlah Sekolah Dasar, estimasi ruang kelas, dan kategori eksposur per kecamatan, Kota Medan

No	Kecamatan	Jumlah SD (unit)	Estimasi Ruang Kelas (unit)	Kategori Eksposur
1	Medan Tuntungan	20	120	Tinggi
2	Medan Johor	20	120	Tinggi
3	Medan Amplas	14	84	Sedang
4	Medan Denai	24	144	Tinggi
5	Medan Area	13	78	Sedang
6	Medan Kota	11	66	Sedang
7	Medan Maimun	6	36	Rendah
8	Medan Polonia	4	24	Rendah
9	Medan Baru	5	30	Rendah

10	Medan Selayang	7	42	Rendah
11	Medan Sunggal	14	84	Sedang
12	Medan Helvetia	19	114	Tinggi
13	Medan Petisah	7	42	Rendah
14	Medan Barat	5	30	Rendah
15	Medan Timur	18	108	Tinggi
16	Medan Perjuangan	8	48	Sedang
17	Medan Tembung	11	66	Sedang
18	Medan Deli	21	126	Tinggi
19	Medan Labuhan	21	126	Tinggi
20	Medan Marelان	28	168	Tinggi
21	Medan Belawan	21	126	Tinggi
<i>TOTAL</i>		297	1782	



Gambar 6. Estimasi jumlah ruang kelas SD per kecamatan sebagai proksi eksposur beban pendinginan, Kota Medan

Grafik tersebut menggambarkan estimasi jumlah ruang kelas Sekolah Dasar di setiap kecamatan di Kota Medan yang dijadikan indikator proksi terhadap beban kebutuhan pendinginan. Secara umum, terdapat variasi yang cukup jelas antarwilayah, di mana Medan Marelan menempati posisi tertinggi dengan 168 ruang kelas, disusul Medan Denai

sebanyak 144 ruang kelas. Kelompok berikutnya terdiri dari Medan Belawan, Medan Deli, dan Medan Labuhan yang masing-masing memiliki sekitar 126 ruang kelas, serta Medan Tuntungan dan Medan Johor dengan 120 ruang kelas, diikuti Medan Helvetia (114) dan Medan Timur (108).

Sementara itu, jumlah yang lebih rendah terlihat pada Medan Sunggal dan Medan Amplas dengan 84 ruang kelas, Medan Area sebanyak 78, serta Medan Tembung dan Medan Kota yang masing-masing memiliki 66 ruang kelas. Pada bagian bawah, Medan Perjuangan (48), Medan Petisah dan Medan Selayang (42), Medan Maimun (36), hingga Medan Barat dan Medan Baru (30), serta Medan Polonia (24) menjadi wilayah dengan estimasi terendah. Secara keseluruhan, pola ini menunjukkan bahwa wilayah pinggiran memiliki estimasi ruang kelas dan potensi beban pendinginan yang lebih besar dibandingkan kawasan pusat kota, yang mengindikasikan adanya ketimpangan spasial dalam distribusi infrastruktur pendidikan sekaligus implikasinya terhadap kebutuhan energi.

3.4 Sintesis Hazard-Exposure dan Implikasi Kebijakan

Kerangka prioritas yang berbeda dari metode analisis spasial suhu konvensional dihasilkan dari kombinasi antara ancaman (kenaikan CDD tingkat kota) dan paparan (distribusi ruang kelas tingkat kecamatan) dalam penelitian ini. Karena keterbatasan resolusi *NASA POWER*, bahaya CDD hampir sama pada skala kota. Oleh karena itu, perbedaan risiko antarkecamatan didasarkan pada paparan, yaitu kepadatan dan jumlah ruang kelas. Metode ini sejalan dengan kerangka penilaian risiko bencana dan iklim yang umum digunakan, di mana $\text{risiko} = f(\text{bahaya, paparan, rentang})$.

Dalam hal kebijakan, hasil ini menunjukkan bahwa program intervensi untuk meningkatkan efisiensi energi pendinginan ruang kelas, seperti pemasangan ventilasi pasif, atap reflektif, kipas angin hemat energi, dan pendingin ruangan hemat energi yang disubsidi, akan memiliki dampak terbesar apabila diprioritaskan pada wilayah yang sangat terekspos, terutama Medan Marelan, Medan Denai, Medan Belawan, Medan Deli, dan Medan Labuhan, yang masing-masing menanggung proporsi

3.5 Keterbatasan Penelitian Penelitian ini

memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan dalam menginterpretasikan hasil. data klimatologi yang digunakan berasal dari *NASA Prediction of Worldwide Energy Resources (NASA POWER)* dengan resolusi spasial sekitar $0,5^{\circ} \times 0,5^{\circ}$ (± 50 km), sehingga belum mampu menggambarkan variasi suhu mikro antarkecamatan di Kota Medan. Oleh karena itu, nilai Cooling Degree Days (CDD) yang digunakan dalam penelitian ini merepresentasikan kondisi iklim pada skala kota, bukan kondisi spesifik masing-masing kecamatan. estimasi jumlah ruang kelas dihitung menggunakan asumsi rata-rata enam ruang kelas pada setiap sekolah dasar. Pendekatan ini digunakan sebagai proksi eksposur infrastruktur pendidikan karena data jumlah ruang kelas pada setiap sekolah tidak tersedia secara lengkap. Akibatnya, hasil estimasi masih berpotensi berbeda dengan kondisi aktual di lapangan. penelitian ini belum menggunakan data observasi suhu dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) sebagai data validasi. Penggunaan data BMKG pada penelitian selanjutnya diharapkan dapat meningkatkan akurasi perhitungan Cooling Degree Days serta memverifikasi hasil yang diperoleh dari *NASA POWER*.

Penelitian ini belum menghitung kebutuhan energi pendinginan aktual dalam satuan kilowatt-hour (kWh). Analisis masih terbatas pada identifikasi tren Cooling Degree Days dan estimasi tingkat paparan berdasarkan jumlah sekolah serta ruang kelas. Oleh karena itu, hasil penelitian lebih tepat dipandang sebagai identifikasi awal wilayah prioritas daripada estimasi konsumsi listrik bangunan sekolah secara langsung. Meskipun memiliki keterbatasan tersebut, penelitian ini telah memberikan gambaran awal mengenai hubungan antara tren peningkatan kebutuhan pendinginan akibat perubahan iklim dengan distribusi infrastruktur pendidikan di Kota Medan. Temuan ini dapat menjadi dasar bagi penelitian lanjutan yang mengintegrasikan data klimatologi beresolusi lebih tinggi, data bangunan sekolah, serta perhitungan kebutuhan energi aktual untuk mendukung penyusunan kebijakan efisiensi energi pada sektor pendidikan.

D. PENUTUP

SIMPULAN

Penelitian ini menganalisis kecenderungan peningkatan *Cooling Degree Days* (CDD) di Kota Medan dan potensi paparan kebutuhan energi pendinginan pada ruang kelas SD di 21 kecamatan. Data yang digunakan berasal dari Pusdatin Kemendikdasmen, BPS Kota Medan, dan *NASA POWER*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa CDD tahunan

Medan periode 2015–2024 cenderung meningkat sekitar 25%, meskipun masih perlu verifikasi lebih lanjut menggunakan data suhu harian. Eksposur tertinggi ditemukan di Kecamatan Medan Marelan, Medan Denai, Medan Belawan, Medan Deli, dan Medan Labuhan karena jumlah sekolah dan ruang kelas yang lebih banyak. Sementara itu, Medan Polonia, Medan Baru, dan Medan Barat memiliki eksposur lebih rendah. Keterbatasan resolusi spasial NASA POWER membuat analisis lebih menekankan variasi infrastruktur pendidikan daripada perbedaan suhu mikro, tetapi pendekatan *hazard–exposure* tetap dapat menjadi dasar dalam menentukan prioritas kebijakan efisiensi energi pendinginan di wilayah dengan kepadatan ruang kelas tertinggi.

SARAN

Penelitian lanjutan disarankan untuk menggunakan data suhu harian *T2M* dari NASA POWER dalam rentang waktu yang lebih panjang, sejak 1981 hingga tahun terbaru, agar perhitungan *Cooling Degree Days* (CDD) lebih akurat dan dapat diuji secara statistik, misalnya melalui metode *Mann–Kendall*. Peningkatan ketelitian spasial juga perlu dilakukan dengan mengintegrasikan data NASA POWER dengan observasi BMKG, dataset reanalisis seperti ERA5-Land, serta citra suhu permukaan dari Landsat atau MODIS. Selain itu, estimasi jumlah ruang kelas perlu divalidasi menggunakan data Dapodik atau survei lapangan bersama Dinas Pendidikan Kota Medan, termasuk kondisi fisik bangunan dan ketersediaan sistem pendingin. Dari sisi kebijakan, intervensi adaptasi seperti ventilasi pasif, *cool roof*, dan penambahan ruang hijau sekolah perlu diprioritaskan pada kecamatan dengan eksposur tertinggi. Penelitian berikutnya juga sebaiknya menggunakan pendekatan lintas disiplin yang menggabungkan klimatologi, arsitektur tropis, dan kebijakan pendidikan agar estimasi kebutuhan energi pendinginan menjadi lebih presisi, kontekstual, dan aplikatif bagi perencanaan infrastruktur pendidikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Andries, Ana, Stephen Morse, Richard J. Murphy, Jim Lynch, and Emma R. Woolliams. 2022. “Assessing Education from Space: Using Satellite Earth Observation to Quantify Overcrowding in Primary Schools in Rural Areas of Nigeria.” *Sustainability (Switzerland)* 14 (3): 1–21. <https://doi.org/10.3390/su14031408>.
- Arsad, Fadly Syah, Rozita Hod, Norfazilah Ahmad, Mazni Baharom, and Mohd Hasni Ja’afar. 2023. “Assessment of Indoor Thermal Comfort Temperature and Related Behavioural Adaptations: A Systematic Review.” *Environmental Science and Pollution Research* 30 (29): 1–13. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-27089-9>.
- Barros de Sousa, Lizandra de, Abelardo Antônio de Assunção Montenegro, Marcos NOZEL, Volume 09 Nomor 01, Februari 2027, 98 – 118
<https://doi.org/10.20961/nozel.v1i1.123350>

- Vinícius da Silva, Thayná Alice Brito Almeida, Ailton Alves de Carvalho, Thieres George Freire da Silva, and João Luis Mendes Pedroso de Lima. 2023. "Spatiotemporal Analysis of Rainfall and Droughts in a Semiarid Basin of Brazil: Land Use and Land Cover Dynamics." *Remote Sensing* 15 (10): 1–25. <https://doi.org/10.3390/rs15102550>.
- Colaninno, Nicola, and Eugenio Morello. 2022. "Towards an Operational Model for Estimating Day and Night Instantaneous Near-Surface Air Temperature for Urban Heat Island Studies: Outline and Assessment." *Urban Climate* 46 (August). <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101320>.
- Daga, Agustinus Tanggu, Dinn Wahyudin, and Rudi Susilana. 2023. "Students' Perception of Elementary School Teachers' Competency: Indonesian Education Sustainability." *Sustainability (Switzerland)* 15 (2): 1–18. <https://doi.org/10.3390/su15020919>.
- Fachrudin, Hilma Tamiami, Rahmi Karolina, Khaira Amalia Fachrudin, and Dzaki Muzhaffar Faris. 2023. "Green Street Design Approach to Realize Green City. Case Study: Medan City." *Future Cities and Environment* 9 (1): 1–13. <https://doi.org/10.5334/fce.176>.
- Faraji, Amir, Maria Rashidi, Fatemeh Rezaei, and Payam Rahnamayiezekavat. 2023. "A Meta-Synthesis Review of Occupant Comfort Assessment in Buildings (2002–2022)." *Sustainability (Switzerland)* 15 (5): 1–36. <https://doi.org/10.3390/su15054303>.
- Gong, Yilu, Xueming Li, He Liu, and Yu Li. 2023. "The Spatial Pattern and Mechanism of Thermal Environment in Urban Blocks from the Perspective of Green Space Fractal." *Buildings* 13 (3): 1–20. <https://doi.org/10.3390/buildings13030574>.
- Khourchid, Ammar M., Salah Basem Ajjur, and Sami G. Al-Ghamdi. 2022. "Building Cooling Requirements under Climate Change Scenarios: Impact, Mitigation Strategies, and Future Directions." *Buildings* 12 (10): 1–23. <https://doi.org/10.3390/buildings12101519>.
- Kolokotsa, Dionysia, Katerina Lilli, Kostas Gobakis, Angeliki Mavrigiannaki, Shamila Haddad, Samira Garshasbi, Hamed Reza Heshmat Mohajer, et al. 2022. "Analyzing the Impact of Urban Planning and Building Typologies in Urban Heat Island Mitigation." *Buildings* 12 (5). <https://doi.org/10.3390/buildings12050537>.
- Okafor, Marcellinus U., Bankole Osita Awuzie, Kenneth Otasowie, Udochukwu Marcel-Okafor, and Clinton Aigbavboa. 2022. "Evaluation of Indoor Thermal Comfort Conditions of Residential Traditional and Modern Buildings in a Warm-Humid Climate." *Sustainability (Switzerland)* 14 (19): 1–28. <https://doi.org/10.3390/su141912138>.
- Puche, Mathilde, Alberto Vavassori, and Maria Antonia Brovelli. 2023. "Insights into the Effect of Urban Morphology and Land Cover on Land Surface and Air Temperatures in the Metropolitan City of Milan (Italy) Using Satellite Imagery and In Situ Measurements." *Remote Sensing* 15 (3): 1–23. <https://doi.org/10.3390/rs15030733>.

- Qi, Liyan, and Jing Wang. 2023. "Optimizing Building Surface Retro-Reflectivity to Reduce Energy Load and CO2 Emissions of an Enclosed Teaching Building." *International Journal of Low-Carbon Technologies* 18 (June): 1–9. <https://doi.org/10.1093/ijlct/ctad048>.
- Ramadan, Mona S., Nesren Khairy, Haya M. Alogayell, Ibtesam I. Alkadi, Ismail Y. Ismail, and Rasha H. Ramadan. 2022. "Spatial Equity Priority Modeling of Elementary and Middle Schools through GIS Techniques, El-Taif City, Saudi Arabia." *Sustainability (Switzerland)* 14 (19): 1–21. <https://doi.org/10.3390/su141912057>.
- Remizov, Alexey, Shazim Ali Memon, and Jong R. Kim. 2023. "Climate Zoning for Buildings: From Basic to Advanced Methods—A Review of the Scientific Literature." *Buildings* 13 (3): 1–51. <https://doi.org/10.3390/buildings13030694>.
- Shrestha, Mishan, and Hom Bahadur Rijal. 2023. "Investigation on Summer Thermal Comfort and Passive Thermal Improvements in Naturally Ventilated Nepalese School Buildings." *Energies* 16 (3): 1–33. <https://doi.org/10.3390/en16031251>.
- Sipil, Elektro D A N, Zufri Hasrudy Siregar, Arif Fadillah Nasution, Muhammad Fazri, and Riana Puspita. 2024. "THE EFFECT OF FUEL MIXTURE COMPOSITION ON GASOLINE ENGINE EMISSIONS IN URBAN CONDITIONS" 05 (02): 1–9. <https://doi.org/10.54123/vorteks.v5i2.389>.
- Siregar, Z H, Moraida Hasanah, and M D Agusdiandy. 2022. "Pengaruh Variasi Temperatur Sumber Panas Terhadap Temperatur Udara Dalam Heater Mesin Stirling Effect of Variation in Heat Source Temperature on Air Temperature in Stirling Engine Heater." *IRA Jurnal Teknik Mesin Dan Aplikasinya (IRAJTMA)* 1 (1): 11–16.
- Siregar, Zufri Hasrudy, Arif Fadillah Nasution, Mawardi, Riana Puspita, Refiza, Asmara Sari Nasution, Muhammad Fazri, and Saidan Sany Lubis. 2025. "Optimalisasi Sistem Plumbing Hemat Air Di Rusun Brimob Sampali Medan: Edukasi Teknologi Dan Manajemen Limbah Cair." *Jurnal Derma Pengabdian Dosen Perguruan Tinggi (Jurnal DEPUTI)* 5 (1): 329–40. <https://doi.org/10.54123/deputi.v5i1.399>.
- Strobel, Michael, Uli Jakob, Wolfgang Streicher, and Daniel Neyer. 2023. *Spatial Distribution of Future Demand for Space Cooling Applications and Potential of Solar Thermal Cooling Systems. Sustainability (Switzerland)*. Vol. 15. <https://doi.org/10.3390/su15129486>.